

H. Felber · M. Fischer

Klärwörter- Taschenbuch

16. Auflage 2010

Herausgeber



Deutscher Vereinigung
für Wasserwirtschaft,
Abwasser und Abfall e. V.

F. Hirthammer 

The logo for F. Hirthammer features the letters 'F.H.' in a stylized, blocky font. The 'F' and 'H' are connected at the top, and the 'H' has a vertical bar on its right side. The letters are white and set against a dark square background.

Klärwärter- Taschenbuch

16. Auflage 2010

Diese Auflage wurde vollständig neu bearbeitet von

Dipl.-Ing. Hannes Felber und
Dipl.-Ing. Manfred Fischer

in Zusammenarbeit mit
dem DWA-Fachausschuss BIZ-2 „Grundkurse“

Herausgeber



Deutsche Vereinigung
für Wasserwirtschaft,
Abwasser und Abfall e.V.

F.Hirthammer 

The logo for F. Hirthammer consists of a green square containing a white stylized 'F' and 'H' intertwined.

F. Hirthammer Verlag München/Oberhaching

16. Auflage 2009: 72. – 76. Tausend

ISBN 978-3-921288-09-2
© 1969 by F. Hirthammer Verlag GmbH
Raiffeisenallee 10, 82041 Oberhaching/München

Alle Rechte, insbesondere die der Übersetzung, sind vorbehalten.
Nachdruck und fotomechanische Wiedergabe – auch auszugsweise –
sind nur mit ausdrücklicher Genehmigung des Verlages gestattet.



2. Was ist Abwasser?

Das im Haushalt oder in Betrieben verwendete Wasser wird zum größten Teil beim Gebrauch verschmutzt. Diese Verschmutzung entsteht durch feste Stoffe (Sand, Gemüsereste, Fäkalien) und flüssige (Harn, Milchreste). Sie können in ungelöste (absetzbare Stoffe) und in gelöste Stoffe (Zuckerwasser) unterschieden werden.

Ein anderes Merkmal ist die chemische Zusammensetzung des Abwassers. Hier kann zwischen anorganischen (mineralisch) Stoffen (Sand, Salz, Metalle), und organischen Stoffen (Eiweiß, Zucker, Fett, Mineralöl, Fäkalien) unterschieden werden.

2.1 Abwasserarten

Abwasser ist das durch häuslichen, gewerblichen, landwirtschaftlichen oder sonstigen Gebrauch in seinen Eigenschaften veränderte Wasser (Schmutzwasser). Abwasser ist auch das bei Trockenwetter damit zusammen abfließende Wasser sowie das von Niederschlägen aus dem Bereich von bebauten oder befestigten Flächen abfließende Regenwasser.

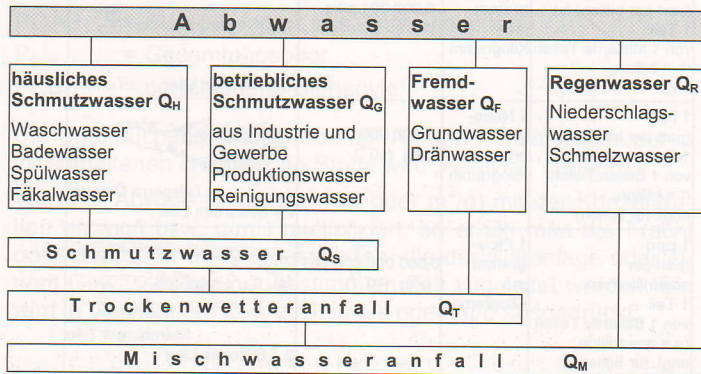


Bild 2.1: Begriffe der verschiedenen Abwasserarten

2.1 Abwasserarten

Die Kurzzeichen nach Arbeitsblatt ATV-DVWK-A 198 Q_H , Q_S , Q_F , Q_R , Q_T , und Q_M , werden benutzt, um den Anfall der jeweiligen Abwasserarten in Formeln darzustellen. Dabei gilt $Q_S + Q_F = Q_T$ der Abfluss bei Trockenwetter.

Häusliches Schmutzwasser, auch Hausabwasser genannt, das in Haushalten und kleinstgewerblichen Betrieben anfallende Schmutzwasser, wie Wasch-, Bade- und Spülwasser einschließlich Fäkalien und Urin.

Kommunales Schmutzwasser enthält neben häuslichem Schmutzwasser auch Schmutzwasser aus Industrie und Gewerbe.

Gewerbliches oder industrielles Schmutzwasser, auch betriebliches Abwasser genannt, kommt aus Industrie- oder Gewerbebetrieben, als Fabrikations- oder Produktionswasser, Reinigungs- oder Kühlwasser. Besondere Bedeutung für die Abwasserreinigung hat Schmutzwasser aus

- Molkereien
- Brauereien
- Schlachthöfen
- fleisch-, fisch- oder lederverarbeitenden Betrieben
- Zuckerfabriken
- obst- und gemüseverarbeitenden Betrieben
- Winzerbetrieben
- Papierfabriken
- Zechen und Hütten
- Stahl-, Textil- und Chemiewerken.

Dieses betriebliche Schmutzwasser enthält oft sehr einseitig organische oder mineralische Stoffe, auch kann es durch Farbe, extremen pH-Werten oder hohen Temperaturen gekennzeichnet sein. Manches betriebliche Schmutzwasser muss deshalb vor der Einleitung in das Kanalnetz vorbehandelt werden, muss z. B. Galvanik- oder Beizereiabwasser neutralisiert und entgiftet werden.

Landwirtschaftliches Schmutzwasser ist meist stark organisch verschmutztes Abwasser aus Stallungen oder der Massentierhaltung. Es kann z. B. bei der Futteraufbereitung oder durch Tropfmilch entstehen. Oft spielen dabei Reste aus dem Jauche- und Silagebetrieb eine Rolle. Jauche (Gülle) und Silosäfte selbst sind kein Abwasser und der Kanalisation fernzuhalten.

Fremdwasser ist ein zusammenfassender Begriff für Wasser, das eigentlich nicht in die Kanalisation gehört und auch nicht in einer Kläranlage behandelt werden sollte. Gemeint ist z. B. Grundwasser, das in undichte Kanäle eindringt; auch Dränwasser aus Dränungen zur Trockenlegung tiefliegender Keller oder durchnässter Grundstücke gehört dazu, sowie Wasser aus Brunnen, Baugruben oder Entwässerungsgräben. Es ist jedoch aus technischen und wirtschaftlichen Gründen nicht immer möglich Fremdwasser aus dem Kanalnetz fernzuhalten. Vielen Kläranlagen fließt wegen des Fremdwassers ein Mehrfaches des eigentlichen Trockenwetterzuflusses zu. Nach § 3 Abs. 3 der Abwasserverordnung (AbwV) ist eine Verdünnung nicht zulässig. Selbst wenn nur 1 l/s Fremdwasser ständig in das Kanalnetz eindringen sollte, führt dies zu einem zusätzlichen Jahresabfluss von 31 500 m³.

Regenwasser ist Wasser, das als Niederschlag in der Form von Regen, Hagel oder Schnee anfällt. Es fließt über befestigte Flächen wie Dächer, Höfe, Straßen und Plätze oder unbefestigte Flächen wie Grünanlagen und Gärten in die Kanalisation. Regenwasser ist unterschiedlich, aber vorwiegend mineralisch verschmutzt. Zeitweise können auch nennenswerte organische Beimengungen auftreten. In der Umgebung von Industriebetrieben kann es durch Luftverunreinigungen oder Staubausstöße (Emissionen) erheblich verschmutzt werden. Im Kanalnetz abgeleitetes Regenwasser ist Abwasser.

Mischwasser entsteht, wenn in Kanälen Schmutzwasser und Regenwasser vermischt abgeleitet werden. Mischwasser ist Abwasser.

Unbehandeltes Abwasser wird auch *Rohabwasser* genannt.

2.2 Abwasseranfall

Der Schmutzwasseranfall entspricht etwa dem häuslichen Wasserverbrauch bzw. dem von Gewerbe und Industrie. Beim kommunalen Abwasser sind die Abflussspitzen auf der Kläranlage gegenüber den Verbrauchsspitzen im Wasserwerk abgeflacht. Nachts, an Sonn- und Feiertagen sowie in der Urlaubszeit ist der Schmutzwasseranfall geringer als in den anderen Zeiten. In Urlaubsgebieten nimmt er in der Ferienzeit zu. In kleinen Orten sind die Tagesschwankungen ausgeprägter und größer als in Städten. In Bild 2.2 sind die Schwankungen des Schmutzwasserabflusses und der darin enthaltenen absetzbaren Stoffe einer Stadt mit 50 000 Einwohnern im Laufe eines Tages dargestellt.

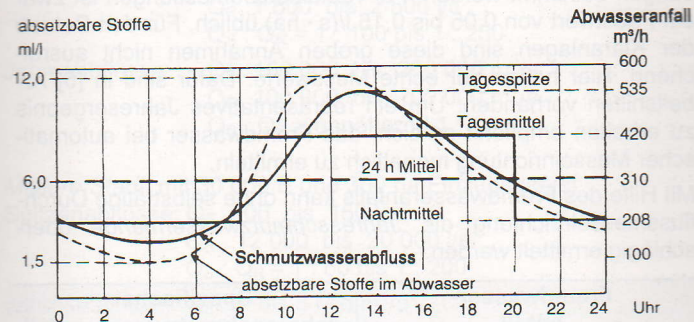


Bild 2.2: Schwankung des täglichen Schmutzwasserabflusses und der absetzbaren Stoffe einer mittleren Stadt [1]

Hier wird deutlich, dass die stündliche Tagesspitze kurz nach Mittag auftritt und etwa 1/14 des gesamten 24-h Mittels erreicht, während nach Mitternacht der stündliche Zufluss auf ein 1/36 absinkt. Als Faustwert beträgt die Tagesspitze 3 - 5 l/s je 1 000 E.

In kleinen bis mittleren Gemeinden ist mit einem spezifischen, d. h. hier auf Einwohner und Tag bezogenen Schmutzwasseranfall von 150 - 200 l/(E · d) zu rechnen, der in Großstädten auf

300 - 400 l/(E · d) steigen kann. Die Zunahme wird vorwiegend durch Gewerbe und Industrie verursacht.

Der Anfall von *betrieblichem Schmutzwasser* lässt sich zwar am Wasserverbrauch beurteilen, aber von einigen Ausnahmen in der Lebensmittelindustrie abgesehen, wird etwas mehr verbraucht als dann als Schmutzwasser anfällt. Im Abschnitt Wasserwirtschaft sind dafür unter Wasserverbrauch Zahlen angegeben.

Der Anfall von *landwirtschaftlichem Schmutzwasser* hat sich wegen des häufig sehr intensivierten Betriebes in den letzten Jahren so verändert, dass allgemein verwendbare Angaben nicht möglich sind.

Der *Fremdwasseranfall* kann nur mit Hilfe von Durchflussmessungen bestimmt werden. Für Kanalnetzdimensionierungen ist zwar ein Faustwert von 0,05 bis 0,15 l/(s · ha) üblich. Für den Betrieb der Kläranlagen sind diese groben Annahmen nicht ausreichend. Hier helfen nur echte Messwerte. Dafür sind in [5] Arbeitshilfen vorhanden. Um ein repräsentatives Jahresergebnis zu erhalten empfiehlt es sich, das Fremdwasser bei automatischer Messeinrichtung monatlich zu ermitteln.

Mit Hilfe des Fremdwasseranfalls kann ohne selbsttätige Durchflussmeseinrichtung die *Jahresschmutzwassermenge* überschlägig ermittelt werden:

Fremdwasseranteil %	Spezifischer Jahresschmutzwasseranfall m ³ /E
0 - 25	30 - 50
25 - 33	50 - 60
33 - 50	60 - 80
> 50	> 80

Bild 2.3: Zusammenhang zwischen Fremdwasseranteil und JSM

Diese Faustzahlen gelten nur, wenn der Abfluss nicht durch Industriebetriebe nennenswert beeinflusst wird. Beim Prozentsatz

des Fremdwassers wird vom täglichen Trockenwetterabfluss als 100 % (mit Fremdwasser) ausgegangen. Für eine sichere Berechnung muss das Fremdwasser mindestens viermal im Jahr ermittelt worden sein. Eine Messung allein genügt nicht.

Der Abfluss des *Regenwassers* ist für die Bemessung von Kanälen, Regenbecken und Pumpwerken besonders wichtig.

Das Verhältnis von Schmutzwasserabfluss bei Trockenwetter (Q_S) zum Regenwasserabfluss (Q_R) ist sehr unterschiedlich, je nachdem ob der Spitzenabfluss bei Starkregen mit der Spitze des Trockenwetterabflusses oder die jeweiligen Jahresabflüsse der Kanalisation miteinander verglichen werden. Beispiele:

Ländlicher Ort mit 3 000 E und 50 ha Einzugsgebiet

Spitzenabflüsse: Q_S 9 bis 2 l/s
 Q_R 1 500 bis 2 500 l/s
 $Q_S : Q_R = 1 : 100$ bis $1 : 250$

Jahresabflüsse: Q_S 150 000 bis 200 000 m³/a
 Q_R 100 000 bis 200 000 m³/a
 $Q_S : Q_R =$ annähernd $1 : 1$

Mittlere Stadt mit 30 000 E und 300 ha Einzugsgebiet

Spitzenabflüsse: Q_S 100 bis 150 l/s
 Q_R 12 000 bis 20 000 l/s
 $Q_S : Q_R = 1 : 80$ bis $1 : 200$

Jahresabflüsse: Q_S 2 bis 3 Mio m³/a
 Q_R 0,7 bis 1,5 Mio m³/a
 $Q_S : Q_R =$ annähernd $1,3 : 1$ bis $4 : 1$

Hier überwiegt der Jahresabfluss bei Trockenwetter.

2.3 Abwasserbeschaffenheit und Einwohnerwert

Um die Beschaffenheit des Rohabwassers zu beurteilen, wird es zuerst angesehen, dann gerochen und schließlich physikalisch und chemisch untersucht. Die wichtigsten Kriterien, die über die Beschaffenheit Auskunft geben, sind

Farbe
 Trübung (Durchsichtigkeit)
 Geruch
 Temperatur
 absetzbare und abfiltrierbare Stoffe
 pH-Wert
 gelöste und ungelöste Stoffe
 organische und anorganische (mineralische) Stoffe
 Fäulnisfähigkeit (Haltbarkeit)
 Leitfähigkeit (Salzgehalt)
 giftige (toxische) Stoffe
 Öle, Fette, brennbare, explosible Stoffe
 waschaktive Substanzen (Detergentien)
 infektiöse Stoffe
 Messwerte für BSB, CSB, $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$, GesN, P_{ges}

Häusliches bzw. kommunales Schmutzwasser ist meist hellgrau, trüb und riecht dumpf muffig, solange es frisch ist. Schwarzgraue Farbe und der Geruch nach H_2S wird meistens von angefaulten Beimengungen verursacht. Das Anfaulen kann von Ablagerungen in Kanälen mit geringem Gefälle kommen oder durch sehr lange Fließzeiten. Andere Färbungen oder Gerüche sind fast immer auf Betriebsabwasser zurückzuführen. Es hat im Regelfall Temperaturen zwischen 10 und 20 °C je nach Jahreszeit. Zum Vergleich: Trinkwasser hat 8 bis 14 °C und Grundwasser 6 bis 12 °C.

Der Anteil an absetzbaren Stoffen im Kläranlagenzulauf schwankt je nach Tageszeit (Bild 2.2). Er kann bis zu 20 ml/l betragen. Bei Starkregen wird die Trübung durch abgeschwemmte Ablagerungen oft verstärkt. Im häuslichen Rohabwasser bestehen ca. 2/3 der Kohlenstoffverschmutzungen aus gelösten oder halbgelösten und 1/3 aus absetzbaren Stoffen.

Der *pH-Wert* (Wasserstoffionen-Konzentration) von häuslichem Schmutzwasser liegt zwischen 6,5 und 7,5, also im neutralen Bereich. Die Schädlichkeitsbereiche sind in der pH-Wert-Skala

in Bild 2.4 dargestellt.

Gut gereinigtes Abwasser ist weitgehend geruchfrei, enthält keine absetzbaren Stoffe und hat eine Durchsichtigkeit von mindestens 50 cm. Manchmal hat es eine leicht gelbliche Färbung, die vorwiegend durch Huminsäuren verursacht wird. Es ist fäulnisunfähig und hat einen pH-Wert um 7.

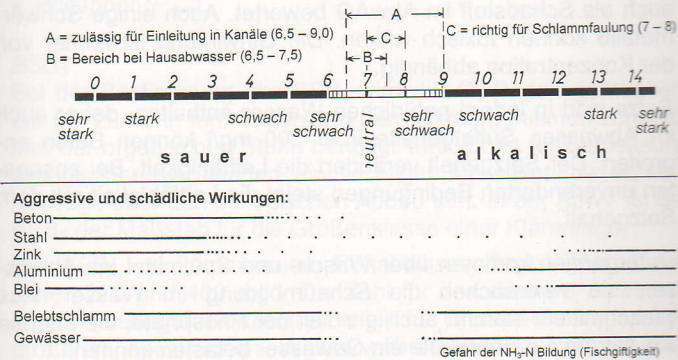


Bild 2.4: pH-Wert-Skala

Bei den anderen Abwasserarten schwanken die Eigenschaften und Mengen der Inhaltsstoffe meistens stärker als beim häuslichen Schmutzwasser.

Trübungen werden durch ungelöste Stoffe in kolloidaler Form, sehr fein verteilte Schwebstoffe, auch Suspensa genannt, verursacht und vermindern die Durchsichtigkeit. Sie können anorganisch sein, wie Tontrübe, oder organisch, z. B. Bakterien.

Die Herkunft mancher Abwasserarten kann am Geruch erkannt werden, so hat landwirtschaftliches Abwasser häufig den typischen Jauche- oder Silogeruch. Brauereiabwasser riecht manchmal nach Maische (Treber) und Molkereiabwasser nach Molke.

Andere und manchmal auch gefährliche Inhaltsstoffe, wie toxische Substanzen in ungenügend vorbehandeltem Galvanikab-

wasser, sind nicht immer mit Auge oder Nase erkennbar. Hierzu gehören auch Stoffgruppen mit den Bezeichnungen CKW (chlorierte Kohlenwasserstoffe, PCB (polychlorierte Biphenyle), AOX (adsorbierbare organische Halogenverbindungen) oder ähnliche, zu denen die Lösungsmittel Tri, Per und Tetra gehören. Sie sind gelöste organische Stoffe, die nur schwer oder nicht abbaubar sind. Manche wirken abbauhemmend. AOX wird auch als Schadstoff im AbwAG bewertet. Auch einige Schwermetalle können toxisch wirken. Die Giftwirkung ist immer von der Konzentration abhängig.

Salze sind in jedem natürlichen Wasser enthalten, daher auch im Abwasser. Sulfatgehalte über 300 mg/l können Beton angreifen. Der Salzgehalt verändert die Leitfähigkeit. Bei ansonsten unveränderten Bedingungen steigt die Leitfähigkeit mit dem Salzgehalt.

Detergentien kommen über Wasch- und Spülmittel ins Abwasser; sie verursachen die Schaumbildung im Wasser. Aus Waschmitteln stammt auch ein Teil der Phosphate, die ebenso wie Nitrate als Nährstoffe ein Gewässer belasten können.

Viele organische Schmutzstoffe zersetzen sich leicht und gehen bei Sauerstoffmangel in Fäulnis über. Die *Fäulnisfähigkeit* bzw. die *Haltbarkeit* ist deshalb ein Beurteilungskriterium für Abwasser, wobei entweder Schwefelwasserstoff mit Bleiazetat nachgewiesen oder durch Methylenblau die Haltbarkeit bestimmt wird. Methylenblau wird normalerweise in kommunalem Rohabwasser in einigen Stunden entfärbt. Wenn Rohabwasser nicht entfärbt, sind meist toxische Stoffe die Ursache.

In häuslichem Schmutzwasser muss immer mit *Krankheitserregern* (Bakterien, Viren, Parasiten, Wurmeiern) gerechnet werden. Ein Rest dieser pathogenen Keime ist auch in gut gereinigtem Abwasser noch vorhanden, wenn es nicht desinfiziert wird.

Wenn *brennbare Stoffe*, wie Benzin, Benzol oder Verdünner usw. in den Kanal gelangen, ist vor allem die Explosionsgefahr zu beachten.

Die wichtigsten Parameter zur Beurteilung der Beschaffenheit des Rohabwassers sind

- *Biochemischer Sauerstoffbedarf (BSB)*
- *Chemischer Sauerstoffbedarf (CSB)*
- *Gesamtstickstoff, Summe aus organischem und anorganischem Stickstoff (GesN)*
- *Phosphor (P_{ges})*.

BSB₅

Bei der Bestimmung des BSB₅ wird der O₂-Bedarf gemessen, der bei 20 °C in fünf Tagen von den Mikroorganismen zum Abbau der organischen Stoffe benötigt wird. Er ist für Bemessung biologischer Kläranlagen ein wichtiger Messwert, da er eine Aussage über den biologischen Abbau trifft. In der AbwV ist der BSB₅ der Maßstab für die Größenklasse einer Kläranlage.

Der BSB₅ von kommunalem Rohabwasser liegt im Mittel zwischen 200 und 400 mg/l. Die Zahl für das dünnere Abwasser mit der niedrigen Konzentration gilt für Großstädte wegen des größeren spezifischen Wasserverbrauchs und für höheren Fremdwasseranteil. In Deutschland rechnet man, dass ein Einwohner täglich 60 g BSB₅ ableitet.

Mit dem BSB₅ wird auch die organische Verschmutzung eines Betriebsabwassers gemessen. Wenn die BSB₅-Fracht durch 60 (bei Messung nach der Vorklärung durch 40), die Zahl, die für einen Einwohner gilt, geteilt wird, entspricht diese Schmutzmenge einem Einwohnerequivalent (EGW).

Bei der Herstellung folgender Produkte fällt im Abwasser durchschnittlich jeweils ein EGW an:

2 - 5 kg	Fleisch- und Wurstwaren	1 - 2 l	Kartoffelspirit
1 - 2 kg	Butter	3 - 20 l	Bier
4 - 22 kg	Käse (ohne Molkeablauf)	0,2 - 0,3 kg	Zellstoff
0,5 - 2 kg	Fischkonserven	1 - 5 kg	Papier
2 kg	Obst- und Gemüsekonserven	1 kg	Seife

1 EGW fällt an beim Ablassen von 0,5 l Vollmilch oder beim Waschen von 1 - 5 kg Schmutzwäsche.

Die Summe aus der Zahl der Einwohner (EZ) und dem Einwohnergleichwert (EGW) ergibt den **Einwohnerwert (EW)**, z. B. für die **Ausbaugröße oder Belastung einer Kläranlage**.

CSB

Der CSB ist die Sauerstoffmenge die erforderlich ist, alle organischen Stoffe chemisch zu oxidieren. Dabei wird der O_2 -Verbrauch mit Hilfe eines Oxidationsmittels gemessen. Bei kommunalem Rohabwasser liegt er im Mittel zwischen 400 und 600 mg/l bzw. täglich bei 120 g je Einwohner.

NH_4 -N, GesN

Der Gehalt an Ammonium-Stickstoff (NH_4 -N) in kommunalem Rohabwasser liegt zwischen 20 und 50 mg/l. Einwohnerbezogen liegt der Stickstoffanfall bei 11 g/d GesN. Bei der Oxidation von NH_4 -N zu Nitrat (NO_3 -N) wird etwa die vierfache Menge an Sauerstoff wie bei der Oxidation der Kohlenstoffverbindungen verbraucht, entsprechende Temperaturen und pH-Werte vorausgesetzt. Der Ammonium-Stickstoff steht mit dem Ammoniak-Stickstoff (NH_3 -N) in einem Gleichgewicht. Steigt die NH_4 -N-Konzentration, dann erhöhen sich auch die NH_3 -N Werte. Bei warmen Wassertemperaturen kann der Ammoniak unabhängig vom pH-Wert auf über 0,2 mg/l im Gewässer ansteigen und wirkt dann stark fischgiftig.

Die Messung des Gesamtstickstoffs (GesN) = Summe aller N-Verbindungen im Zulauf zur Kläranlage ist als Betriebswert von Bedeutung. Denn erst im Verlauf der Abwasserreinigung wird der überwiegende Teil des organischen Stickstoffs in Ammoniumstickstoff umgewandelt.

Ohne diesen organischen Stickstoffanteil ist bei der Ermittlung des N-Abbaus der Kläranlage keine exakte Bilanzierung möglich. Dagegen sollten Nitrit und Nitrat im häuslichen Rohabwasser kaum vorkommen. Allerdings sind durch unkontrollierte Einleitungen wie nitrathaltiges Fremdwasser durchaus nennenswerte NO_3 -N Konzentrationen möglich, die es rechtfertigen, den GesN zu messen.

P_{ges}

Die Phosphorkonzentration im Abwasser ist in den letzten Jahren deutlich zurückgegangen. Sie liegt heute bei mittlerem kommunalem Rohabwasser zwischen 8 und 12,5 mg/l. Einwohnerbezogen rechnet man mit 1,8 g/d P_{ges} . Der Rückgang ist vor allem durch die Änderung der Waschmittelzusammensetzung eingetreten.

Phosphor gehört in Form von Phosphat neben dem bei der Stickstoffoxidation entstehenden Nitrat zu den Pflanzennährstoffen. Beide Stoffe führen zu einer Überdüngung (Eutrophierung) der Gewässer.

Die Beschaffenheit des gereinigten Abwassers

Das gereinigte Abwasser muss bestimmte Anforderungen erfüllen, bevor es in ein Gewässer eingeleitet werden darf. Dazu gibt es gesetzliche Regelungen.

Bei den Gemeinden sind im Anhang 1 der AbwV für kommunales Abwasser je nach Ausbaugröße einer Kläranlage teilweise unterschiedliche Anforderungswerte für BSB_5 , CSB, NH_4 -N, N_{ges} und P_{ges} festgelegt (siehe dazu Abschnitt 1.2 Wasserrecht).

N_{ges}

„ N_{ges} “ ist die Summe der Messwerte von NH_4 -N, NO_3 -N und NO_2 -N ohne den Anteil des organischen Stickstoffes. Die Stickstoffverbindungen sind aus der gleichen Probe zu bestimmen.

Zur Unterscheidung ist unter „GesN“ die Summe aus anorganischem und organischem Stickstoff zu verstehen. Die Ermittlung ist vor allem im Zulauf (Rohabwasser) von Interesse, da hier der organische Anteil verhältnismäßig groß sein kann.

4. Vorgänge bei der Abwasserreinigung

Die naturwissenschaftlichen Grundlagen über die natürlichen Selbstreinigungsvorgänge in den Gewässern sind auch die Grundlagen für die Vorgänge der Abwasserreinigung in Kläranlagen. Was im Fluss Tage und Wochen dauert, wird dort in wenigen Stunden erreicht. Dies trifft vor allem für die biologisch wirkenden Teile einer Kläranlage zu. Die Bakterien, meistens schon im ankommenden Rohabwasser enthalten, werden dort künstlich in großen Mengen gezüchtet, indem für günstige Lebensbedingungen mit ausreichend Sauerstoff und Nahrung (Schmutzzufuhr) gesorgt wird. Um Betriebsstörungen zu vermeiden und die Anlage wirtschaftlich betreiben zu können, muss das Abwasser vorbehandelt werden, z. B. mit Rechen, Sandfang, Vorklärung. Die im biologischen Teil entstehenden Bakterienflocken werden in der Nachklärung zurückgehalten.

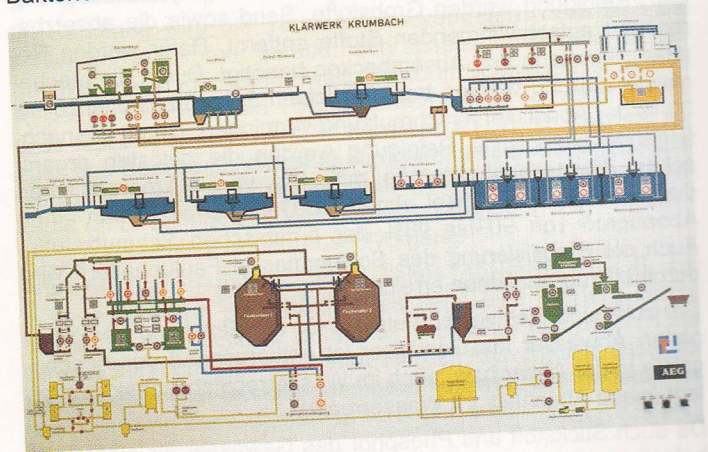


Bild 4.1: Schaltbild einer Kläranlage

Bild 4.1 zeigt die verschiedenen Reinigungsschritte einer konventionellen Kläranlage.

Die abgesetzten Stoffe aus Vor- und Nachklärung werden als Schlamm in der Faulanlage ausgefault und dabei im Volumen verringert. Danach wird er verwertet.

Bei der Abwasserbehandlung wird zwischen Sammelkläranlagen (Zentralkläranlagen) und Betriebskläranlagen (Industriekläranlagen) unterschieden. Sammelkläranlagen reinigen das Abwasser von Kommunen und Zweckverbänden. Betriebskläranlagen dagegen behandeln das Gewerbeabwasser mit speziellen Verfahren (z. B. Entgiften, Neutralisieren, Entschlammern). Wird das Industrieabwasser in der Betriebskläranlage nur soweit behandelt, dass es entsprechend der Entwässerungssatzung in das Kanalnetz einer Gemeinde eingeleitet (Indirekt-einleiter) werden kann, werden diese als „Vorreinigungs“- oder „Vorbehandlungsanlagen“ bezeichnet.

In Kläranlagen werden verschiedene Klär- und Reinigungsverfahren angewandt. Bei der *mechanischen* (physikalischer Begriff) Reinigung werden Grobstoffe, Sand sowie die absetzbaren und aufschwimmenden Stoffe entfernt. Dafür werden Rechen, Sandfang und Absetzbecken benötigt. Durch die mechanische Klärung werden bei häuslichem Schmutzwasser 20 bis 30 % der Abwasserverschmutzung vermindert. Durch die nachfolgende biologische Reinigung werden die gelösten organischen Abwasserinhaltsstoffe mit Hilfe von Mikroorganismen durch ihren Stoffwechsel abgebaut. Damit erreicht man einen Abbaugrad von 90 bis 98% der organischen Schmutzstoffe. Auch die Stabilisierung des Schlammes in Faulbehältern wird durch Mikroorganismen erreicht.

Die zulässige Restverschmutzung für die Einleitung der gereinigten Abwässer ins Gewässer ist entsprechend der Ausbaugröße in der AbwV bzw. auch im Wasserrechtsbescheid festgelegt (siehe Abschnitt 1.2 Wasserrecht).

Da auch Stickstoff und Phosphor das Gewässer als Nährstoffe belasten, müssen sie vermindert werden. Stickstoff wird in der Regel durch biologische Verfahren, Phosphor auch durch chemische Fällung verringert.

Wenn die jeweiligen Bauteile, z. B. Vorklärung, biologische An-

lage und Nachklärung in einem einzigen Bauwerk kombiniert sind, spricht man von Kompaktanlagen oder Kombinationsbecken. Wenn sie in bestimmter Form von Herstellerfirmen für verschiedene Größen angeboten werden von Typenbauweise. Um die Personalkosten zu vermindern, werden auch bei kleinen Kläranlagen automatisch gesteuerte Maschinen verwendet. Sehr das zu begrüßen ist, darf nicht vergessen werden, dass die Störanfälligkeit und Wartungsaufwendungen mit jeder Maschine wachsen.

4.1 Mechanische Vorgänge

Alle Feststoffe verhalten sich im turbulenzfreien Abwasser grundsätzlich nach dem Gesetz der Schwerkraft. Stoffe, die eine größere Dichte als Wasser haben setzen sich ab, Stoffe mit geringerer Dichte schwimmen auf.

Im Sandfang wird die Turbulenz so verringert, dass sich die schweren Sandkörner gerade noch absetzen, während die feineren schlammigen Stoffe weitgehend in Schwebelage bleiben. In Absetzbecken wird die Fließgeschwindigkeit so verlangsamt, dass fast alle absetzbaren Stoffe absinken. Voraussetzung ist, dass das Becken gleichmäßig durchströmt wird. Verstopfte Einlaufvorrichtungen oder ungleichmäßiger Abfluss an der Ablaufkante (z. B. bei starkem Wind) machen die Strömung ungleichmäßig und behindern den Absetzvorgang.

Ähnliche Folgen hat es, wenn kaltes Abwasser – z. B. bei Schneeschmelze – zufließt. Da es dann eine größere Dichte hat als das im Becken, drängt es verstärkt nach unten. Dies wird Dichteströmungen genannt mit der Auswirkung, dass der Absetzbereich im Becken durchgewirbelt wird und dadurch die Sedimentierung des Schlammes verringert wird.

4.2 Biologische Vorgänge

Ein großer Teil der organischen Inhaltsstoffe des Abwassers, bei Hausabwasser etwa zwei Drittel, besteht aus gelösten oder sehr fein verteilten Stoffteilchen, die sich in einem Absetzbecken nicht absetzen. Mit Hilfe der biologischen Verfahren ist es möglich, auch diese Stoffe weitgehend zu vermindern.

Dabei werden die organischen Stoffe von Mikroorganismen aufgezehrt, insbesondere von Bakterien (einzellige Lebewesen). Sie vermehren sich rasch und bilden so „biologischen Rasen“ im Tropfkörper bzw. die „Belebtschlammflocke“ in Belebungsanlagen. Neben Bakterien sind im biologischen Rasen bzw. in der Belebtschlammflocke auch höhere Organismen wie Protozoen (einzellige Organismen) und Metazoen (mehrzellige Organismen) vorhanden, die sich meist von frei schwimmenden Bakterien und kleinen Schlammteilchen ernähren. Sie tragen dadurch auch zur Reinigung des Abwassers bei. Sie sind aufgrund ihrer Größe im Mikroskop im Gegensatz zu den Bakterien leichter zu erkennen (Bild 4.2) und dienen als Merkmale zur Beurteilung der Artenvielfalt eines Belebtschlammes [11, 12].

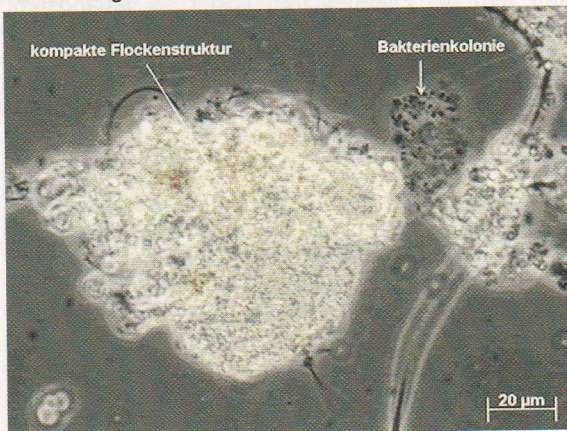


Bild 4.2: Organismen im Belebtschlamm

Die Gesamtheit der in einem Lebensraum vorhandenen Organismen wird als *Lebensgemeinschaft (Biozönose)* bezeichnet. Die Gesamtmasse der in einem Tropfkörper oder einem Belebungsbecken lebenden Organismen heißt Biomasse.

Die im Abwasser enthaltenen Schmutzstoffe werden also durch die Stoffwechsellätigkeit der Mikroorganismen abgebaut. Dabei werden die organischen Stoffe teilweise zu Kohlensäure und wasserlöslichen Mineralsalzen oxidiert (= verbrannt) und zum Zellaufbau der Mikroorganismen benötigt. Durch die Verbrennung wird die erforderliche Lebensenergie erzeugt. Der dazu benötigte Sauerstoff wird durch die Atmung aufgenommen. Damit die biologische Abwasserreinigung funktioniert ist es wichtig, dass die Mikroorganismen mit dem Abwasser in Berührung gebracht werden und gleichzeitig ausreichend Sauerstoff erhalten.



Bild 4.3: Drehstrenger am Tropfkörper

Der aus dem Tropfkörper herausgespülte oder aus der Belebungsanlage abgezogene Schlamm setzt sich in einem Nachklärbecken ab. Die biologischen Verfahren bestehen letzten Endes also darin, dass durch die Tätigkeit der Mikroorganismen die nicht absetzbaren, gelösten organischen Schmutzstoffe teils abgebaut und teils in absetzbare Schlammflocken umgewandelt werden.

Zu den biologischen Verfahren gehören Tropfkörper, Rotations-tauchkörper und Belebungsanlagen.

Beim *Tropfkörper* (Bild 4.3) siedelt sich die Biomasse (Bakterien, Protozoen und Metazoen) auf dem Füllmaterial als biologischer Rasen an, über den das vorgeklärte Abwasser rieselt. Ein ähnlicher Bakterienbewuchs bildet sich auf den Scheiben oder den Kunststoffgebilden der Rotationstauchkörper, die im Abwasser, etwa zu 1/3 eingetaucht, langsam gedreht werden.

Bei *Belebungsanlagen* (Bild 4.4) wird die Biomasse in großen „Betonaquarien“ (= Belebungsbecken) bei intensiver Belüftung (Sauerstoffversorgung) in ständiger Turbulenz gehalten und so mit dem Abwasser gemischt, dass die Schmutzstoffe (Nahrungsangebot) schnell aufgenommen werden können. Nahrungsangebot und Biomasse müssen zueinander in ein bestimmtes Verhältnis gebracht werden.

In schwachbelasteten Anlagen „nagen“ die Bakterien, bildlich gesprochen, am Hungertuch, und vermehren sich auch nur in geringerem Maße. In mittel belasteten Anlagen entwickeln sie sich schneller, da größeres Nahrungsangebot in kürzerer Zeit vorhanden ist. Schwachbelastete Anlagen brauchen, bezogen auf die BSB₅-Belastung, große Beckennutzräume, hochbelastete kleinere; dafür muss dann der Schlamm noch weiter stabilisiert werden.

Tatsächlich sind die Abbauvorgänge komplizierter als hier dargestellt werden kann und von vielen Einflüssen wie Temperatur, Zeit, pH-Wert, Nahrungsangebot, Nahrungszusammensetzung usw. abhängig.



Bild 4.4: Belebungsbecken

Ein anderer biologischer Vorgang ist noch die Algenentwicklung. Die im Abwasser reichlich vorhandenen Nährstoffe, wie Stickstoff und Phosphat, begünstigen je nach Jahreszeit an gut belichteten, nassen Stellen das Ansiedeln von Algenbewuchs. Er bildet dann vor allem in Ablaufrinnen oder auf der Tropfkörperoberfläche grüne Ränder und Flächen. Das hat keine schädlichen Auswirkungen auf die Abwasserreinigung, allerdings sind in den Gerinnen von Nachklärbecken Algen dennoch zu entfernen, da sie zur Erhöhung der Ablaufverschmutzung beitragen. Die Algen selbst tragen nahezu nichts zur konventionellen Abwasserreinigung bei. Sie belasten jedoch das Gewässer. Bei der weitergehenden Reinigung können sie mitwirken Restverschmutzungen (z. B. in einem Schönungsteich) zu beseitigen, wenn die Algen anschließend nicht in das Gewässer gelangen.

In aeroben Abwasserteichen findet zeitweise eine sehr kräftige Algenbildung statt. Auch hier verzehren die Algen selbst keinen Schmutz, aber bei Lichteinstrahlung produzieren sie Sauerstoff,

der wiederum den Bakterienwuchs fördert. Diese Sauerstoffproduktion wird als Fotosynthese bezeichnet. Nachts verbrauchen die Algen wieder Sauerstoff, aber erheblich weniger, als sie produzieren. Wenn sie allerdings absterben, führt das zu einer weiteren Verschmutzung.

4.2.1 Kohlenstoffabbau

Den Hauptanteil der gelösten organischen Stoffe im Abwasser bilden die Kohlenstoffverbindungen. Die wichtigsten sind Kohlenhydrate, Eiweiße und Fette. Sie werden bei der biologischen Abwasserreinigung durch Bakterien zuerst umgesetzt.

Der dafür benötigte Sauerstoffverbrauch wird als „biochemischer Sauerstoffverbrauch (BSB)“ gemessen. Er ergibt sich aus dem Kohlenstoffabbau und dem Baustoffwechsel der Bakterien. Mit Hilfe dieser Messgröße kann der Grad der organischen Verschmutzung im Abwasser festgestellt werden (siehe Kapitel 9.4).

4.2.2 Stickstoffentnahme

Nitrifikation

In einer nachfolgenden Reaktion kann die Umsetzung der Stickstoffverbindungen von bestimmten Organismen erfolgen. Für ihre Umsetzung wird die rd. vierfache Menge Sauerstoff wie für den Abbau der Kohlenstoffverbindungen etwa benötigt.

Im kommunalen Abwasser kommt der Stickstoff (N) größtenteils aus den menschlichen Ausscheidungen, und zwar aus dem Urin, überwiegend in Form von Harnstoff, der schon im Kanal zu Ammoniumstickstoff ($\text{NH}_4\text{-N}$) zerfällt, dies nennt man Ammonifikation. Je länger die Fließzeit zur Kläranlage ist, umso weiter ist dieser Vorgang fortgeschritten. Im mechanischen Teil wird dann weiter organischer Stickstoff in $\text{NH}_4\text{-N}$ umgewandelt, so dass im Ablauf der Vorklärung der größte Teil des Stickstoffes als Ammoniumstickstoff vorliegt (Bild 4.5). Organischer Stickstoff und Ammoniumstickstoff als Summe werden Kjeldahl-Stickstoff (TKN) genannt:

$$\text{TKN} = \text{orgN} + \text{NH}_4\text{-N}$$

Ammoniumstickstoff wird im Gegensatz zu den Kohlenstoffverbindungen nicht abgebaut, sondern über Nitrit ($\text{NO}_2\text{-N}$) zu Nitrat ($\text{NO}_3\text{-N}$) oxidiert. Dieser Vorgang wird *Nitrifikation* genannt.

Die nitrifizierenden Bakterien sind empfindlicher als die kohlenstoffabbauenden Bakterien, haben wesentlich geringere Wachstumsraten und werden daher leicht von den kohlenstoffabbauenden verdrängt. Daneben wird ihre Aktivität durch die Konzentration an gelöstem Sauerstoff und durch die Temperatur beeinflusst. Die Aktivität ist bei Sauerstoffkonzentrationen unter 1,5 mg/l im Belebungsbecken – auch im Gewässer – und Temperaturen unter 10 °C, stark eingeschränkt; der pH-Wert soll im neutralen Bereich liegen.

Voraussetzung für die Nitrifikation ist daher neben ausreichendem Sauerstoffgehalt und höheren Abwassertemperaturen, ein weitgehender Kohlenstoffabbau, also eine ausreichend lange Belüftungszeit mit niedriger Schlammbelastung und ein hohes Schlammalter.

Denitrifikation

Die bei der vorbeschriebenen Nitrifikation entstehenden Nitrate wirken im Gewässer als Düngestoffe und sind daher nach Möglichkeit weitgehend zu verringern. Dies ist nur möglich, wenn die Kohlenstoffverbindungen im Rohabwasser mit nitrathaltigem Abwasser zusammen geführt werden und kein gelöster Sauerstoff vorhanden ist. Die Bakterien holen sich dann den zum Leben notwendigen Sauerstoff vom Nitrat. Dieser Vorgang wird als *Denitrifikation* bezeichnet. Der Stickstoff (N_2) entweicht dann als Gas in die Atmosphäre.

Voraussetzung dafür ist also eine Beckenzone, in die keine Luft (Sauerstoff) eingeblasen und in die auch kein sauerstoffhaltiges Abwasser eingeleitet wird; der gelöste Sauerstoff muss 0 mg/l sein, damit die Bakterien gezwungen werden, den gebundenen Sauerstoff aus dem Nitrat aufzunehmen. Diese Zone wird „anoxische Zone“ genannt. Außerdem muss möglichst leicht abbaubares Substrat in dieser Zone vorhanden sein, das den Bakterien zur ausgewogenen Nahrungszusammensetzung dient.

Diese vorbeschriebene verfahrenstechnische Art der Denitrifikation ist auch aus anderen Gründen vorteilhaft: Ein Teil der zur Nitrifikation aufgewendeten Belüftungsenergie kann zurückgewonnen und eine ungewollte Denitrifikation mit Schwamm- schlamm auf dem Nachklärbecken vermieden werden. Gleich- zeitig verbessern sich die Absetzeigenschaften des Be- lebtschlammes.

Stickstoffbilanz

Die im Kanalnetz und in der Kläranlage ablaufenden Vorgänge der Stickstoffumsetzung können mengenmäßig erfasst und den einzelnen Verfahrensschritten zugeordnet werden.

Um die Zusammenhänge zu verdeutlichen, wurden die einzel- nen Stufen in der Bilanz (Bild 4.5) vereinfacht und mögliche Einflüsse vernachlässigt. Belastungsspitzen aus Rückbelastungen durch Schlammwasser der Schlammbehandlung blieben unberücksichtigt. Verdünnung (Fremdwasser) vermindert die Stickstoffkonzentration.

Die Stickstoffganglinie unterliegt den üblichen Schwankungen der Abwasserinhaltsstoffe. Bei kommunalem Abwasser liegt im Rohabwasser die Stickstoffkonzentration TKN = orgN + NH₄-N zwischen 50 und 60 mg/l. Der Anteil an NH₄-N ist dabei höher als der Anteil an orgN. Man rechnet auf den Einwohner bezo- gen mit täglich 11 g TKN.

Im Zulauf zur Kläranlage

Bei der Annahme eines täglichen Schmutzwasseranfalls von 200 l je Einwohner ergibt sich eine rechnerische Konzentration von $11 \cdot 1000 \text{ mg TKN} / (E \cdot d) : 200 \text{ l} / (E \cdot d) = 55 \text{ mg/l}$

Nach der mechanischen Reinigung

Der Prozess der Ammonifikation setzt sich im mechanischen Teil fort, so dass weiter orgN in NH₄-N umgewandelt wird. Der in der Vorklärung abgesetzte Schlamm enthält eine Masse von rund 1 g N/(E · d). Dies entspricht einem Stickstoffgehalt von etwa 5 mg/l, der dadurch aus dem Abwasser entfernt ist. Diese Zahlen gelten nicht für Abwasserteiche; durch Rücklösungen in-

folge der Fäulnisprozesse des Schlammes im 1. Teich liege hier andere Verhältnisse vor.

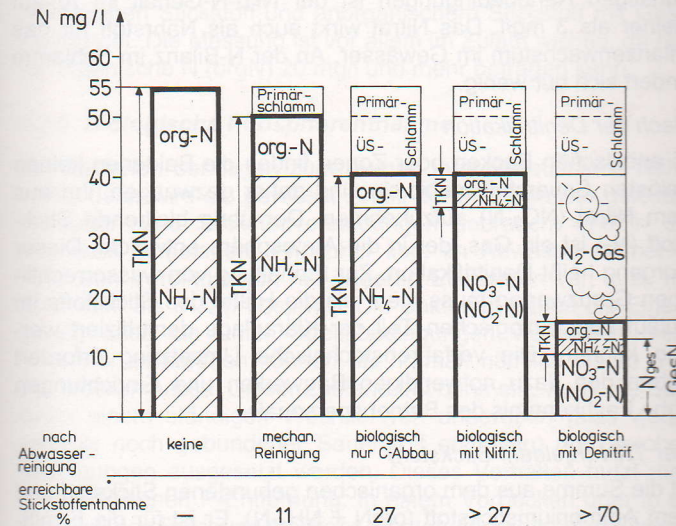


Bild 4.5 : Stickstoffbilanz im Abwasser

Nach der biologischen Reinigung (nur Kohlenstoffabbau)

Jetzt liegt fast der gesamte Stickstoff als NH₄-N vor. In der bi- ologischen Stufe wird organische Substanz in Bakterienmassen eingebaut und als Überschussschlamm entnommen. Für die Bildung dieser Biomasse wird Stickstoff benötigt. Der Stickstoff der dabei entfernt wird, liegt etwa bei $0,05 \cdot \text{BSB}_5 = 0,05 \cdot 4 \text{ g} / (E \cdot d) = 2 \text{ g N/E}$, das entspricht 10 mg/l N im Abwasser.

Nach der Nitrifikation

Im Belebungsbecken wird mit Hilfe von reichlich Sauerstoff NH₄-N über Nitrit (NO₂-N) zu Nitrat (NO₃-N) oxidiert. Auch bei schwachbelasteten Tropfkörpern oder Rotationstauchkörpern erfolgt dies in „ähnlicher“ Weise. Diesen Vorgang nennt man

Nitrifikation oder Stickstoffoxidation. Bei ausreichendem Schlammalter bzw. niedriger BSB_5 -Schlammbelastung und günstigen Randbedingungen ist der NH_4 -N-Gehalt im Ablauf kleiner als 3 mg/l. Das Nitrat wirkt auch als Nährstoff für das Pflanzenwachstum im Gewässer. An der N-Bilanz im Schlamm ändert sich nur wenig.

Nach der Denitrifikation

In anoxischen Becken oder Zonen finden die Bakterien keinen gelösten Sauerstoff mehr; sie sind daher gezwungen, ihn aus dem Nitrat (NO_3 -N) aufzunehmen. Der übrig bleibende Stickstoff (N_2) ist ein Gas, der in die Atmosphäre entweicht. Dieser Vorgang heißt Denitrifikation. Zur Einhaltung von wasserrechtlichen Grenzwerten muss mehr als die Hälfte des Stickstoffs im Zulauf zum biologischen Teil der Kläranlage denitrifiziert werden können. Die verfahrenstechnische Umsetzung erfordert neben den dazu notwendigen Bauwerken und Einrichtungen hohe Fachkenntnis des Betriebspersonals.

Der TKN (Kjeldahl-Stickstoff)

ist die Summe aus dem organischen gebundenen Stickstoff und dem Ammoniumstickstoff ($orgN + NH_4$ -N). Er ist für die Ermittlung der Stickstofffracht im Rohabwasser und die Ermittlung des Abbaugrades von Interesse. In der Praxis wird meistens der $GesN$ gemessen. Im Ablauf liegt die Konzentration an $orgN$ so niedrig, dass bei hohem CSB-Abbaugrad die Messung des $orgN$ nicht mehr wichtig ist. Die Werte liegen zwischen 1 bis 2 mg/l.

Der Gesamtstickstoff im Ablauf (N_{ges})

Nach dem Abwasserabgabengesetz (AbwAG) ist beim Einleiten von Abwasser in ein Gewässer für den Stickstoff Abgabe zu zahlen. Der Stickstoff (N_{ges}) ist nach der Abwasserverordnung und dem AbwAG als Summe von NH_4 -N, NO_3 -N und NO_2 -N definiert – also ohne den organischen N. Bei einer wirkungsvollen Stickstoffverminderung ist der N_{ges} kleiner als 12 mg/l im Ablauf der Kläranlage.

Der Gesamtstickstoff im Zulauf ($GesN$)

Zur Unterscheidung zum N_{ges} wird die Summe aus organisch gebundenen Stickstoff und anorganischem Stickstoff mit $GesN$ bezeichnet. Die Messung ist vor allem im Zulauf wichtig, da hier der organische N ($orgN$) 20 mg/l und mehr betragen kann.

4.2.3 Biologische Phosphorentnahme

Die Bakterien benötigen zum Aufbau ihrer Zellsubstanz Nährstoffe, dafür wird ein gewisser Anteil der im Abwasser gelösten Phosphor- und Stickstoffverbindungen gebraucht und in die Biomasse eingelagert. Phosphor liegt im Abwasser immer in Form von Verbindungen mit anderen Elementen vor, z. B. mit Sauerstoff als PO_4 (Phosphat). Die Bakterien haben die Eigenschaft, dass sie unter Stressbedingungen wesentlich mehr Phosphor aufnehmen können als normal, nämlich bis zu 5 % der Trockenmasse. Dieser Zustand tritt dann ein, wenn die Bakterien einem ständigen Wechsel von anaeroben (also weder gelöster noch gebundener Sauerstoff enthalten) und aeroben Bedingungen ausgesetzt werden. Dieses Verhalten nutzt man zur biologischen P-Entfernung. In einem Vorbecken oder in einem Teil des Belebungsbeckens werden anaerobe Verhältnisse hergestellt. Im anschließenden belüfteten Teil wird von speziellen Bakterien vermehrt P aufgenommen, im anaeroben Bereich kommt es zu Rücklösungserscheinungen.

Kennzeichnend für eine gute Funktion des Verfahrens ist also eine gegenüber dem Zulauf deutlich höhere Phosphat-Konzentration in den anaeroben Zonen. Im nachgeschalteten aeroben Beckenteil nehmen aber die Bakterien vermehrt Phosphor auf, so dass letztlich die Phosphat-Konzentration im Ablauf niedriger als die im Zulauf ist. Das aus dem Abwasser in den Bakterien eingelagerte Phosphat wird mit dem Überschussschlamm aus dem Kreislauf entnommen. Dabei ist zu erwähnen, dass anaerobe Bedingungen immer von merklicher Geruchsentwicklung begleitet werden.

Die einzelnen Verfahrensabläufe der Phosphorverminderung in einer Kläranlage sind in der Beschreibung zu Bild 4.6 erläutert.

4.3 Chemische Vorgänge

Durch die chemische Abwasserbehandlung sollen vor allem folgende Ziele erreicht werden:

- Neutralisation saurer oder alkalischer Abwässer,
- Überführung gelöster anorg. Stoffe in unlösliche Form, anschließende Abtrennung als Schlamm (Entgiften von Galvanikabwasser oder P-Verminderung),
- Abtrennung kolloidal gelöster Stoffe,
- Verbesserung des Wirkungsgrades von Absetz-, Flotations- und Filteranlagen.

4.3.1 Grundlagen

Neutralisation, Fällung von Metallsalzen und Entgiftung gehören verfahrenstechnisch in den Bereich der Vorbehandlung von Abwasser bestimmter Herkunft. Sie muss am Anfallort des Abwassers durchgeführt werden, damit die anschließende Behandlung zusammen mit kommunalem Abwasser nicht gestört wird. Andererseits sind die Konzentrationen der Schwermetalle im kommunalen Abwasser meist nicht so hoch, dass eine Schädigung der aeroben biologischen Stufe erfolgen würde. Die Metallsalze reichern sich aber im Schlamm an. Dadurch kann nicht nur die landwirtschaftliche Verwertung der Klärschlämme in Frage gestellt werden. Stark schwermetallhaltige Schlämme stellen ganz allgemein eine Umweltbelastung dar. Aus diesem Grunde ist die gezielte Vorbehandlung solcher metallsalzhaltiger Abwässer erforderlich.

Neutralisation

Unter *Neutralisation* versteht man die Aufhebung der ätzenden Wirkung von Säuren oder Laugen. Die Grundlage beruht auf der Tatsache, dass sich die Wirkungen von Säuren oder Laugen beim Mischen nicht addieren, sondern aufheben. Hierbei entstehen Salze und Wasser. Da für die biologische Abwasserreinigung der neutrale Bereich mit pH-Werten zwischen 7 und 7,5 besonders günstig ist, müssen Einleitungen von Abwasser

aus Industrie- und Gewerbe mit hohem oder niedrigem pH-Wert neutralisiert werden; dafür werden verschiedene Säuren oder Laugen verwendet.

Fällung

Bei der *Fällung* werden gelöste Abwasserinhaltsstoffe durch chemische Reaktion mit einem Fällungsmittel in ungelöste Formen überführt. Ein Anwendungsgebiet ist die Entfernung von Schwermetallsalzen aus dem Abwasser. Sie kann vielfach gleichzeitig mit der Neutralisation in entsprechenden Vorbehandlungsanlagen der Betriebe durchgeführt werden. Andererseits weisen die unterschiedlichen Metallsalze jeweils einen bestimmten pH-Bereich auf, bei dem die Fällungsreaktion am wirksamsten verläuft. Dieser muss besonders eingestellt werden.

Entgiftung

Entgiftung bedeutet die Zerstörung giftig wirkender Stoffe oder Verbindungen und deren Überführung in eine auf Bakterien nicht giftig wirkende Form. Zu den wichtigsten im Abwasser enthaltenen Giftstoffen gehören

Cyanid (CN^-), Chromat (CrO_4^{2-}), Nitrit (NO_2^-) und Sulfid (S^{2-}).

Cyanid ist beispielsweise der giftigste Bestandteil anorganisch verschmutzter Abwassers. Die Überführung erfolgt über eine Oxidation mit Natriumhypochlorit (NaOCl) zu Stickstoff und Kohlendioxid.

Flockung

Unter *Flockung* versteht man die Erzeugung von absetzbaren Flocken aus ungelösten, fein verteilten Stoffen. Als Flockungshilfsmittel werden Chemikalien bezeichnet, die im Abwasser selbst Flocken bilden (z. B. Metallsalze). Da diese oft nur eine geringfügig höhere Dichte als Abwasser haben, ist häufig der Zusatz von Flockungshilfsmitteln (z. B. Polyelektrolyte) erforderlich. Diese ermöglichen die Zusammenlagerung kleiner Flocken zu größeren mit höherer Dichte, die sich dadurch besser absetzen. Die Flockung wird gelegentlich eingesetzt, um die schlech-

ten Absetzeigenschaften von belebten Schlämmen im Nachklärbecken zu verbessern. Flockungshilfsmittel werden aber zur Verbesserung der statischen Eindickung von Schlamm und zu seiner maschinellen Entwässerung benötigt.

4.3.2 Phosphatfällung

Eine besondere Bedeutung bei der Abwasserreinigung hat die Phosphatfällung. Phosphate wirken im Gewässer als Pflanzennährstoffe so dass sie aus dem Abwasser entfernt werden müssen. Früher erfolgte dies allein durch chemische Fällung. Inzwischen ist bekannt, dass Bakterien unter bestimmten Bedingungen (vgl. Abschnitt 4.2.3) vermehrt P aufnehmen können. Daher hat die chemische Fällung mehr eine unterstützende und ergänzende Aufgabe.

Phosphor-Bilanz

Eine Bilanzierung der im Abwasser gelösten Phosphorverbindungen ist nur möglich, wenn – ähnlich wie beim Stickstoff – die Messwerte auf P umgerechnet werden. Für die Messung müssen alle P-Verbindungen zu Phosphat aufgeschlossen werden. Man erhält dann den Gesamtphosphor = P_{ges} .

Die in der Kläranlage in den einzelnen Verfahrensstufen ablaufende P-Verminderung ist in Bild 4.6 dargestellt. Bei der Bilanz sind zusätzliche Rückbelastungen aus dem Schlammwasser bei der Schlammbehandlung oder der maschinellen Schlamm-entwässerung nicht berücksichtigt. Dies trifft ebenso auf das Problem der Rücklösung von Phosphor zu, wenn Überschusschlamm anaerob wird. Diese Fälle würden die Einfachheit der Darstellung erschweren.

Im kommunalen Abwasser kommt das Phosphat zum überwiegenden Teil aus Wasch- und Reinigungsmitteln sowie menschlichen Ausscheidungen. Die Phosphorkonzentrationen im Zulauf der Kläranlage sind in den letzten Jahren stetig zurückgegangen; sie liegen bei kommunalen Abwässern zwischen 8,0 bis 12,5 mg/l. Man rechnet auf den Einwohner bezogen mit täglich 1,8 g P_{ges} .

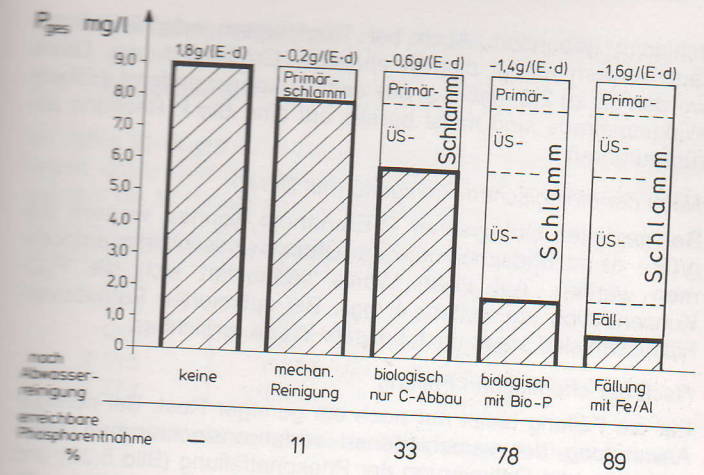


Bild 4.6: Phosphorbilanz im Abwasser

Im Zulauf zur Kläranlage

Bei der Annahme eines täglichen Schmutzwasseranfalls von 200 l ergibt sich eine rechnerische Konzentration von $1800 \text{ mg P}/(E \cdot d) : 200 \text{ l}/(E \cdot d) = 9,0 \text{ mg/l}$

In der Praxis liegen die Konzentrationen oft niedriger. Dies ist meist durch einen hohen Fremdwasserzufluss oder einen großen Anteil an gewerblichem Abwasser begründet. Unterschiedliche Fließzeiten im Kanalnetz führen zu keiner Veränderung der P-Konzentration.

Nach der mechanischen Reinigung

Bei einer vermehrten Rechengutentnahme (z. B. Siebrechen) wird deutlich mehr Phosphor entfernt, aber mit der Rechengutwäsche wird er dem Abwasser wieder zugeführt.

Nach der biologischen Reinigung (nur C-Abbau)

Bei der biologischen Reinigung im Belebungsbecken werden etwa $0,4 \text{ g}/(E \cdot d)$ Phosphor durch Bakterien im Überschuss-

schlamm gebunden. Auch bei Tropfkörpern oder Rotations- tauchkörpern erfolgt dies in ähnlicher Größenordnung. Damit werden bis zu 2,0 mg/l P_{ges} aus dem Abwasser entfernt. Höheren Wirkungsgrade sind meist bereits auf eine Bio-P Reaktion zurückzuführen.

Nach der biologischen Reinigung (mit Bio-P)

Bei gezielter biologischer P-Entnahme können weitere 0,5 g/(E · d) an Phosphor mit dem Überschussschlamm entnommen werden. Auf diese Weise vermindert sich die P_{ges} Konzentration um weitere 4 mg/l. Bei optimierten Betriebsverhältnissen sind sogar noch bessere Werte erreichbar.

Nach der chemischen Fällung

Für die Fällung bleibt nur noch ein geringer Rest. Bei richtiger Anwendung der verschiedenen verfahrenstechnischen Möglichkeiten und Optimierung der Phosphatfällung (Bild 5.36) und der unterschiedlichen Fällmittel sind Ablaufwerte erreichbar, die sicher unter $P_{ges} = 1,0$ mg/l liegen. Mit Flockungsfiltration sind sogar Werte unter 0,3 mg/l zu erreichen.

Der Gesamtphosphor im Ablauf

Bei kommunalem Abwasser ist gemäß der AbwV in der Größenklasse ab 10 001 EW im Ablauf ein P_{ges} von 2 mg/l einzuhalten; größer als 100 000 EW liegt dieser Wert bei 1 mg/l.

Verfahrenstechnik

Die verschiedenen verfahrenstechnischen Möglichkeiten der Phosphatfällung sind in Kapitel 5.10 erläutert. Dabei müssen die von der Dosieranlage zugegebenen Fällmittel intensiv mit dem Abwasser vermischt werden, gleichgültig, an welcher Stelle die Zugabe erfolgt. Allgemein kann man davon ausgehen, dass bei allen chemischen Fällungsverfahren die Schlammengen bis zu 20 % zunehmen.